

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局



(43)国際公開日
2002年1月10日 (10.01.2002)

PCT

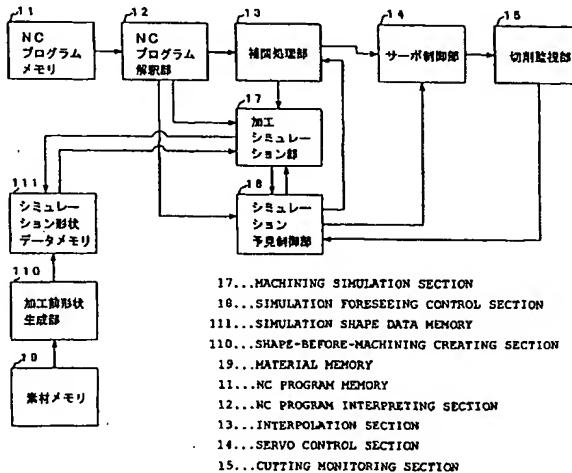
(10)国際公開番号
WO 02/03155 A1

- (51)国際特許分類: G05B 19/4068, B23Q 15/12
(52)発明者; および
(75)発明者/出願人(米国についてのみ): 藤嶋 誠 (FUJISHIMA, Makoto) [JP/JP]; 〒639-1160 奈良県大和郡山市北郡山町106番地 株式会社 森精機製作所内 Nara (JP). 深谷安司 (FUKAYA, Yasushi) [JP/JP]; 〒480-0193 愛知県丹羽郡大口町下小口5丁目25番地の1 オークマ株式会社 大口工場内 Aichi (JP).
(53)国際出願番号: PCT/JP00/04393
(54)国際出願日: 2000年6月30日 (30.06.2000)
(55)国際出願の言語: 日本語
(56)国際公開の言語: 日本語
(57)出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社 森精機製作所 (MORI SEIKI CO., LTD.) [JP/JP]; 〒639-1160 奈良県大和郡山市北郡山町106番地 Nara (JP). オークマ株式会社 (OKUMA CORPORATION) [JP/JP]; 〒462-0032 愛知県名古屋市北区辻町1丁目32番地 Aichi (JP).
(58)出願人 および
(72)発明者: 山崎和雄 (YAMAZAKI, Kazuo) [JP/US]; 95814 カリフォルニア州 サクラメントセブンストリート 1500番地 7号の0 California (US).
(73)代理人: 村上智司 (MURAKAMI, Satoshi); 〒541-0058 大阪府大阪市中央区南久宝寺町2丁目1番2号 竹田ビル 801号 Osaka (JP).
(81)指定国(国内): JP, US.
(84)指定国(広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
添付公開書類:
— 国際調査報告書

[統葉有]

(54)Title: APPARATUS AND METHOD FOR MACHINING SIMULATION FOR NC MACHINING

(54)発明の名称: NC加工における加工シミュレーション装置及び方法



(57)Abstract: A machining simulation using graphic data is conducted prior to the machining, the frequencies of forced vibration and/or load variation due to intermittent cutting are simulated according to machining information by machining simulation means (17), and a numerical control command is produced with reference to the frequencies obtained by the simulation by a numerical control command producing means (18). The simulation can be reflected on the actual machining and the creation of a machining program under the condition that the spindle rotational speed is suited to the actual machining. Hence the frequencies of forced vibration and/or load variation due to intermittent cutting and their harmonic frequencies are not approximate to the natural frequencies of the machine, tool, jig, and work, and chattering due to resonance is prevented. Therefore the surface precision can be improved.

[統葉有]

WO 02/03155 A1



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

グラフィックデータ上の加工シミュレーションを加工に先だって実行し、加工シミュレーション手段（17）で加工情報に基づいて断続切削による強制振動の周波数及び／又は負荷変動の周波数をシミュレートし、そこから得られる前記周波数に基づいて、数値制御指令作成手段（18）、で数値制御指令を作成する。主軸回転速度を実加工に適合した条件で実加工や加工プログラム作成に反映できるため、断続切削による強制振動の周波数及び／又は負荷変動の周波数もしくはそれらの整数倍の高調波周波数と、機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数が近い値になることが無くなり、共振によるびびりの発生を防げる。そのため、面精度等の向上を実現できる。

明細書

N C 加工における加工シミュレーション装置及び方法

技術分野

5 本発明は、N C加工における加工シミュレーション装置及び方法に関するものであり、特に、素材形状データや工具形状データ及び加工形状を特定するデータに基づく加工シミュレーションに基づき、数値制御指令を作成する装置及び方法に関するものである。

10 背景技術

図1のブロック図を基に、従来の数値制御システムの適応制御指令作成システムを説明する。

N Cプログラムメモリ11には、これから行なう加工に用いるN Cプログラムが格納されている。

15 N Cプログラム解釈部12は、N Cプログラムメモリ11から1ブロックずつN Cプログラムを読み込み、解釈し、本ブロックで指令されている、或いは、モーダル指令として前ブロックまでで指令されている補間種類、目標位置、送り速度を補間処理部13に送出する。

20 補間処理部13は、補間種類、目標位置、送り速度に基づいて、各軸毎の単位時間（補間周期）あたりの移動量 Δx 、 Δy 、 Δz を算出し、サーボ制御部14に送出する。

サーボ制御部14は、補間処理部13から得た各軸毎の単位時間あたりの移動量 Δx 、 Δy 、 Δz に基づいて、各軸モータの回転を制御し、各軸の動作を実施する。

25 切削監視部15においては、サーボ制御部14から実際に検知した主軸負荷や送り軸負荷を受け取り、これらの内少なくとも一方を適応制御部16に送出

する。

適応制御部 1 6においては、切削監視部 1 5から得られた主軸負荷や送り軸負荷と予め設定された値とを比較して、主軸負荷や送り軸負荷が予め設定された過負荷判定値を超える場合には、アラーム等を発生して各軸を停止する指令を補間処理部 1 3に対して送出する。また、主軸負荷や送り軸負荷が予め設定された速度制御検出範囲を逸脱する場合には、送り速度を上げる／下げるの速度変更指令を補間処理部 1 3に送出する。さらに、主軸負荷や送り軸負荷が予め設定されたエアカット判定値を下回った場合には、エアカットに適當な送り速度指令を補間処理部 1 3に送出する。

10 これらの指令に基づいて、補間処理部 1 3は、各軸毎の単位時間（補間周期）あたりの移動量 Δx 、 Δy 、 Δz の再計算を行なって、サーボ制御部 1 4に送出する。

以下、加工が終了するまで上記の処理を繰り返す。

次に、図 2 のブロック図を基に、従来の NC プログラム作成システムを説明
15 する。

加工データ入力部 2 1においては、NC プログラムを作成する上で必要な情報である工具種類、工具サイズ、素材材質、加工軌跡等をオペレータが入力し、入力された結果は NC プログラム作成部 2 3 に送出される。

切削条件データテーブル 2 2 は、工具種類、工具サイズ、素材材質等からそれらに適切な送り速度、主軸回転速度等が決定できるようなデータテーブル構造となっており、NC プログラム作成部 2 3 によって参照される。

NC プログラム作成部 2 3 は、加工データ入力部 2 1 から送出された工具種類、工具サイズ、素材材質、加工軌跡等の加工データ、さらには、工具種類、工具サイズ、素材材質等に基づいて切削条件データテーブル 2 2 から読み出された送り速度、主軸回転速度等の切削条件を基に、NC プログラムを作成する。
。

テーブルデータ変更部 24 は、工具種類、工具サイズ、素材材質等と送り速度、主軸回転速度等とのリレーションテーブルの変更を指示するものである。

NC プログラム編集部 25 は、NC プログラムをオペレータが直接編集するものである。

- 5 このような構成の NC プログラム作成システムでは、オペレータが NC プログラムにおける送り速度等を変更したい場合には、以下の 3 種類の内、何れかの方法が採られる。

即ち、加工データ入力部 21 から直接送り速度等を指示する、もしくは、テーブルデータ変更部 24 において、予め、工具種類、工具サイズ、素材材質等 10 と送り速度、主軸回転速度等とのリレーションテーブルの変更を指示しておく、又は、NC プログラム編集部 25 において、F 指令等を変更するの何れかである。

しかし、従来の数値制御システムの適応制御指令作成システムにおいては、いかに高速に主軸負荷や送り軸負荷等の加工状態情報がフィードバックされようとも、原理的に追従遅れが発生することは回避できず、「過去」の情報に基づいて、「現在」制御を行なわざるを得ない状況であった。

このため、加工負荷が大きい部分の加工から加工負荷が小さい部分の加工に移る時点においては、実際の加工負荷は小さいにも関わらず送り速度が遅くなるように制御されて、加工効率が低下したり、加工負荷が小さい部分の加工から加工負荷が大きい部分の加工に移る時点においては、実際の加工負荷は大きいにも関わらず送り速度が速くなるように制御されて、工具に負荷が掛かり過ぎたり適正な面粗度が得られない等の問題があった。

また、従来の NC プログラム作成システムにおいては、主軸回転速度などの切削条件は、オペレータが自らの判断によって指令するか、工具種類、工具サ 25 イズ、素材材質等から一義的に決定されるものであったため、断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数とは無関係となっていた。

このため、最も適切な主軸回転速度又は切削速度で切削を続けることが極めて困難であり、工具の早期摩耗や加工精度、面粗度の低下を招き易かった。さらには、断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの整数倍の高調波周波数と、機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数が近い値になった場合には、共振による数十 μm にも及ぶ大きなびびりが発生する事があり、加工物の表面に周期的な波形のマークが入り面粗度が劣化するという問題があった。

従来はびびりが発生した時には、これを防ぐために断続切削の周波数（一般には主軸の回転速度）を変えて機械、工具、治具、あるいは工作物等の固有振動数を避けるようにしていた。

しかしながらこの方法はカットアンドトライ的な要素が強く、また試し切削をおこないながらびびりの発生が見つかればこれを無くす条件を探す必要があるため熟練した技術者でも時間を要する欠点があった。

本発明の目的は、以上のような問題を解消し、グラフィックデータ上の加工シミュレーションを加工に先だって実行し、そこから得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数に基づいて、主軸回転速度を実加工に適合した条件で実加工や加工プログラム作成に反映できるNC加工における加工シミュレーション装置及び方法を提供することにある。

20 発明の開示

上記目的は、加工情報に基づいてNC加工の加工シミュレーションを行なう装置において、加工情報に基づいて断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数をシミュレートする加工シミュレーション手段と、前記加工シミュレーション手段から得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数を基に数値制御指令を作成する数値制御指令作成手段を備することにより達成される。

グラフィックデータ上の加工シミュレーションを加工に先だって実行し、そこから得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数に基づいて、主軸回転速度を実加工に適合した条件で実加工や加工プログラム作成に反映できるため、断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくは
5 それらの整数倍の高調波周波数と、機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数が近い値になることが無くなり、びびりが発生することも無いので、面精度の向上が実現できる。

また上記目的は、前記加工情報が、NCプログラム、素材形状データ及び工具形状データから成ることにより達成される。

10 また上記目的は、前記加工シミュレーション手段が、前記NCプログラムの主軸回転速度と前記工具形状データの工具刃数とから断続切削による強制振動の周波数を算出することにより達成される。

また上記目的は、前記加工シミュレーション手段が、前記シミュレーションに先立って前記素材形状データを3次元格子点に区画した加工シミュレーション形状データに変換する素材形状データ生成手段と、前記加工シミュレーション形状データを記憶するシミュレーション形状記憶手段と、前記NCプログラムと前記工具形状データとから前記格子点上の素材領域を工具が通過する場合に削り取り量を切削量として算出するとともに前記工具が通過する格子点の素材有無の情報を削り取りにあわせて更新する切削量算定手段を含み、前記NC
15 プログラムの主軸回転速度と前記工具形状データと前記切削量算定手段とから切削による負荷変動の周波数を算出することにより達成される。

また上記目的は、前記加工シミュレーション手段が、前記シミュレーションに先立って前記素材形状データの素材底面を格子点で区画し素材高さを前記格子点の垂直方向高さデータとした加工シミュレーション形状データに変換する
20 素材形状データ生成手段と、前記加工シミュレーション形状データを記憶するシミュレーション形状記憶手段と、前記NCプログラムと前記工具形状データ

とから前記格子点上の素材領域を工具が通過する場合に削り取り量を切削量として算出するとともに前記工具が通過する格子点の前記垂直方向高さデータを削り取りにあわせて更新する切削量算定手段を含み、前記NCプログラムの主軸回転速度と前記工具形状データと前記切削量算定手段とから切削による負荷変動の周波数を算出することにより達成される。

また上記目的は、前記垂直方向高さデータが、素材が存在する領域の高さデータ、あるいは、素材が存在する領域の高さデータと存在しない領域の高さデータとの組み合わせから構成されることにより達成される。

また上記目的は、前記数値制御指令作成手段が、前記加工シミュレーション手段から得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械、工具、治具、あるいは工作物等の固有振動数を含む一定範囲を避けるように、NCプログラム又はNCプログラムが数値制御装置内部でデコードされたNCプログラムデコードデータ又は前記NCプログラムデコードデータから生成される切削速度を作成することにより達成される。

また上記目的は、前記素材形状データが、入力された加工物形状データを基に前記加工シミュレーションによって得られた形状データ又は前記加工シミュレーションによって得られた形状データの一部を加工物を実際に計測して得られた形状データによって補正したデータであることにより達成される。

また上記目的は、前記工具形状データが、入力された工具形状データを基に工具を実際に計測して得られた形状データによって補正したデータであることにより達成される。

また上記目的は、加工情報に基づいてNC加工の加工シミュレーションを行なう方法において、加工情報に基づいて断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数をシミュレートする加工シミュレーションステップと、前記加工シミュレーションステップで得られる断続切削による強制振動の周波数や負

荷変動の周波数を基に数値制御指令を作成する数値制御指令作成ステップを有することにより達成される。

- また上記目的は、前記数値制御指令作成ステップにおいて、前記加工シミュレーション手段から得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械、工具、治具、あるいは工作物等の固有振動数を含む一定範囲を避けるように、NCプログラム又はNCプログラムが数値制御装置内部でデコードされたNCプログラムデータ又は前記NCプログラムデータから生成される切削速度を作成することにより達成される。
- 10 また上記目的を達成するため、本発明は、コンピュータに、加工情報に基づいて断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数をシミュレートする加工シミュレーション手順と、断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数を基に数値制御指令を作成する数値制御指令作成手順とを実行させるためのプログラムを記録した媒体を含む。
- 15 さらに、前記加工シミュレーション手順を実行させるためのプログラムは、断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械、工具、治具、あるいは工作物等の固有振動数を含む一定範囲を避けるように、NCプログラム又はNCプログラムが数値制御装置内部でデコードされたNCプログラムデータ又は前記NCプログラムデータから生成される切削速度を作成することにより達成される。
- 20

図面の簡単な説明

図1は、従来の数値制御システムの適応制御指令作成システムのブロック図である。

図2は、従来のNCプログラム作成システムのブロック図である。

図3は、本発明のNC加工における加工シミュレーション装置に係る第1の実施形態のブロック図である。

図4は、本発明のNC加工における加工シミュレーション装置に係る第2の実施形態のブロック図である。

5 図5(a), (b)は、本発明に関わるシミュレーション形状データの構造例である。

図6は、本発明に関する加工シミュレーションの原理の説明図である。

図7は、本発明に関する素材形状データを加工物を実際に計測した結果に基づいて補正する場合の説明図である。

10 図8(a), (b)は、本発明に関する素材形状データを3次元格子点に区画する場合のシミュレーション形状データの構造例を示す図である。

図9は、本発明に関する回転工具の一刃毎の回転角に対する切削断面1次モーメントの変化の例を説明する図である。

図10は、本発明に関する工具の回転角の分割を説明する図である。

15 図11は、本発明に関する分割された工具の回転角の区間毎の切削断面1次モーメントを表す図である。

図12は、本発明に関する1枚刃の場合の連続した1回転内の負荷変動を表す図である。

20 図13は、本発明に関する2枚刃の場合の連続した1回転内の負荷変動を表す図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明のNC加工における加工シミュレーション装置及び方法に係る第1の実施形態は、素材や工具の形状データに基づく加工シミュレーションをリアルタイムで行い、その結果求められる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数に基づいて、事前に主軸回転速度を適正な値に制御するような数値

制御指令を実施するNC加工における加工シミュレーション装置である。

ここでは、本出願人が過去にWO 98/19822 (PCT/JP96/03266)において開示した本NC加工における加工シミュレーション装置に組み込んだ例を説明する。このようにして加工負荷シミュレーションによる適応制御に加えて、びびりの抑制制御が可能となっている。もちろん今回のびびり抑制制御を単独で加える事も可能である。

以下、図3のブロック図を用いて説明する。

尚、本ブロック図では、図1のブロック図と共通する項目には、共通の番号を付しているため、ブロック16が欠如している。

10 NCプログラムメモリ11には、これから行なわれる加工に用いるNCプログラムが格納されている。

NCプログラム解釈部12は、NCプログラムメモリ11から1ブロックずつNCプログラムを読み込み、解釈し、本ブロックで指令されている、或いは、モーダル指令として前ブロックまで指令されている補間種類、目標位置、送り速度を補間処理部13に通知するとともに、工具番号と主軸回転速度とを加工シミュレーション部17に通知し、さらに工具番号と送り速度とをシミュレーション予見制御部18に通知する。

20 補間処理部13は、補間種類、目標位置、送り速度に基づいて、各軸毎の単位時間（補間周期）あたりの移動量 Δx 、 Δy 、 Δz を算出し、加工シミュレーション部17に通知する。

加工前形状生成部110は、加工に先立って、予め本システムが持っている素材メモリ19から素材形状データを読み出し、これから行う加工シミュレーションに適したデータ構造に変換して、加工シミュレーション形状データとしてシミュレーション形状データメモリ111に格納しておく。或いは、オペレータが加工シミュレーションの都度、素材形状を入力し、この入力されたデータを前述のように加工シミュレーション形状データとしてシミュレーション形

状データメモリ 111 に格納しておく。

尚、加工前形状生成部 110 は、図 5 (a) に示すように素材底面に対応した X-Y 平面上に所定間隔の格子点を定義し、各格子点毎に Z 方向空間に素材が存在するか否かを、素材形状データを基に判別し、存在すれば素材底面からの高さ h_1 を、存在しなければ 0 をその格子点に対応した Z 座標値として記憶するという手順で、素材メモリ 19 の素材形状データを加工シミュレーションに用いる形状のデータ構造に変換し、シミュレーション形状データメモリ 111 に格納する。

また、図 5 (b) のように 1 つの格子点の Z 方向空間に対して、素材が存在する領域の間に素材が存在しない中空領域が挟まれていれば、この格子点に対応して記憶される Z 座標値データは 1 つのみでなく、素材領域の高さ h_1 、中空領域の高さ h_2 、再び素材領域 h_3 の高さといった複数個の Z 座標値データ（連結リスト構造）を記憶することとなる。

加工シミュレーション部 17 は、NC プログラム解釈部 12 から受け取った工具番号と予め本システムが持っている使用工具データメモリとから現在加工に使用されている工具の形状、例えば工具径を認識し、この工具径と補間処理部 13 から受け取った Δx 、 Δy 、 Δz とシミュレーション形状データメモリ 111 から必要に応じて順次読み出した加工シミュレーション用形状データとに基づいて単位時間あたり切削量を算出する。さらに後述するように、この単位時間あたりの切削量と主軸回転速度とに基づいて工具 1 回転あたり切削量を算出する。

図 6 (a) は、工具現在位置に基づく加工領域の認識を説明する図であり、図 6 (b) は、削り取り量の総和 ($V_{REMOVED}$) の算出方法を説明する図である。前記単位時間あたり切削量は、図 6 に示す如く工具 100 の現在位置 X 25 Y と工具径と Δx 、 Δy とから X-Y 平面上に所定間隔で定義された格子点 k の内、どの格子点 k を工具 100 が通過するかを特定し、さらにこの格子点

k が持つ加工シミュレーション形状の Z 座標値と工具 100 の現在位置 Z と Δz から工具が加工物を削り取るか否かを判別し、この判別された格子点 k 1 つ1つに対して削り取り量を算出してそれらの総和を次式によって算出した削り取り量の総和 (V_{REMOVED}) として得られる。

$$5 \quad V_{\text{REMOVED}} = \Delta^2 \sum_x \sum_y (Z_{xy} - Z_{xy}')$$

ここで、 V_{REMOVED} : 削り取り量の総和

Z_{xy} : 加工前の Z 高さ

Z_{xy}' : 加工後の Z 高さ

である。

10 尚、この時点では、 Δx 、 Δy 、 Δz に基づいた工具の移動が実際に行われるか否か未定のため、今回の Δx 、 Δy 、 Δz に基づいた工具移動による削り取りに応じた加工シミュレーション形状データの更新、及びシミュレーション形状データメモリ 111 への格納は行わない。

次に、工具 1 回転内の負荷変動を求める。

15 エンドミルのような回転工具の場合は、主軸の回転中心に対する切削断面 1 次モーメントの変化を求ることにより、工具 1 回転内の負荷変動を見ることができる。

回転工具の 1 刃毎の回転角に対する切削断面 1 次モーメントを求めるとき、例えば図 9 のような変化を示す。

20 X-Y 平面座標系を円筒座標系 (r , θ) に置き換え、Z 値を用いて、1 刃毎の主軸 1 回転当たり切削量 $M_r r$ は式 1 で表わす事ができる。

$$M_r r = \int_0^{2\pi} \int_0^R z(r, \theta) r \cdot dr d\theta \quad \cdots \text{式 1}$$

ここで、R は工具半径である。

1 回転区間 $0 \leq \theta \leq 2\pi$ を $[\Delta\theta_0, \Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \dots, \Delta\theta_n]$ に区分

して、各微小区間 $[0, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n, 2\pi]$ での切削量 Mrr_i は式 2 で表わすことができる。

$$Mrr_i = \int_{\theta_i}^{\theta_{i+1}} \int_0^R z(r, \theta) r \cdot dr d\theta \quad [i : 0 \sim n] \quad \dots \text{式 2}$$

また、角 θ における切削断面 1 次モーメントは式 3 で表わされる。

$$5 \quad S_i = \int_0^R z(r, \theta) r \cdot dr \quad \dots \text{式 3}$$

よって、式 2 で求められる微小区間の切削量 Mrr_i を区間幅 $\Delta\theta_i$ で除すると式 4 のように、区間 $[\theta_i, \theta_{i+1}]$ での切削断面 1 次モーメントの平均値が求まる。

$$S_i = \frac{Mrr_i}{\Delta\theta_i} \quad \dots \text{式 4}$$

10 上記のような理由により、各区間に切削量が計算できる充分な格子点が存在するように回転角をいくつかに分割して、図 10 のような区間毎の切削量を求める。

区間 $[\theta_i, \theta_{i+1}]$ に存在する格子点 k で、シミュレーションにより切削された Z 座標値データを z_k 、工具中心からの距離を r_k とすると区間 $[\theta_i, \theta_{i+1}]$ における切削量は式 5 で表わされる。

$$Mrr_i = \sum_k z_k r_k \quad \dots \text{式 5}$$

このようにして、区間毎の切削量を求めると図 11 のような工具 1 回転内の負荷変動を離散データとして得ることができる（図 11 では分割された各回転角毎の面積が区間毎の切削量を表す）。この得られた結果を離散フーリエ変換等の周波数解析手段を用いて周波数解析することにより、切削抵抗による振動の周波数を予測することができる。

さらに、1 回転毎に得られた結果を接続して展開していくば、図 12 のよう

な連続した1回転内の負荷変動が得られる。あるいは、複数刃の場合には、1刃毎のシミュレーション結果を重ね合わせることにより図13のような工具全体の負荷変動を得ることができる。このような主軸回転速度、工具径、切削条件などの加工前情報からだけでは得ることはできないシミュレーション結果から、フーリエ変換等の周波数解析手段により切削抵抗による振動周波数を求め、切削現象による振動の予測をすることに役立てる。

切削振動の主成分はエンドミルの断続切削による強制振動の周波数であり、この振動周波数は式6のように簡易的に計算することも可能である。

$$F_a = n \cdot k / 60 \quad \cdots \text{式6}$$

尚、 F_a は強制振動の周波数、nは刃数、kは主軸回転速度(min^{-1})である。

機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数はあらかじめ実験もしくは解析で求めておき、この周波数を登録しておく。

振動周波数もしくはその整数倍の高調波周波数が各部の固有振動数に比べてある一定の範囲内であれば、その範囲を外れるように主軸回転速度を下げる。この範囲は実験的に求めて予めデータとして持つておく。

主軸回転速度を変更する方法は新しい回転速度をNCプログラム解釈部に送出しても良いし、主軸オーバライドの機能を利用してても良い。

これにより実際の切削で使用する主軸回転速度が決定し、この主軸回転速度に基づいた主軸1回転当たりの切削量をシミュレーション予見制御部に送出する。シミュレーション予見制御部18は、加工シミュレーション部17から受け取った工具1回転あたりの切削量と予め本システムが持っている素材材質とから加工シミュレーション切削抵抗値R及び切削トルクTを算出する。

ここでは、エンドミルにおけるシミュレーション切削抵抗値R及び切削トルクTの例を示す。

$$R = a \cdot V_p (\text{kg f}) \quad \cdots \text{式7}$$

$$T = b \cdot (n \cdot V) q \quad (\text{kg f} \cdot \text{cm}) \quad \cdots \text{式8}$$

尚、Vは1回転当たりの切削体積、nはエンドミルの刃数、a、b、p、qは素材材質に固有のパラメータである。

- 次にN C プログラム解釈部12から受け取った工具番号と予め本システムが
5 持っている使用工具データメモリとから現在加工に使用されている工具の適正
切削抵抗を読み出す。

尚、工具の適正切削抵抗値は、オペレータが加工に先立って工具毎に設定し
ておいてもよい。

- 上記（式7）で算出したシミュレーション切削抵抗値と適正切削抵抗値とを
10 比較し、シミュレーション切削抵抗値が適正切削抵抗値を逸脱している場合は
、適正な切削抵抗になるような送り速度を計算し、適正送り速度として再補間
要求信号とともに補間処理部13へ通知する。

前記適正送り速度を算出する式は、例えば以下の通りである。

$$S_g = S \cdot R_g / R_s \quad \cdots \text{式9}$$

- 15 尚、S_gは適正送り速度、Sは指令送り速度、R_gは適正切削抵抗値、R_sはシミュレーション切削抵抗値である。

一方、逸脱していない場合は、加工形状更新信号を加工シミュレーション部
17へ送り、速度適正信号を補間処理部13へ通知する。

- 加工シミュレーション部17は、シミュレーション予見制御部18から加工
20 形状更新信号を受け取ったら、今回のΔx、Δy、Δzに基づいた工具移動による
削り取りに応じて加工シミュレーション形状データを更新し、シミュレーション
形状データメモリ111に格納する。

この更新は、格子点毎に記憶されているZ座標値を削り取られた量だけ減算することによって実行される。

- 25 シミュレーション予見制御部18から送り速度適正信号を受け取ると、補間
処理部13は、今回算出したΔx、Δy、Δzをそのままサーボ制御部14へ

転送する。その結果、適正な切削抵抗と判断された送り速度で切削が行われることになる。

一方、再補間要求信号を受け取った場合は、先に補間処理したデータをすべて破棄し、シミュレーション予見制御部18から受け取った適正送り速度に基づいて再度単位時間当たりの各軸の移動量 $\Delta x'$ 、 $\Delta y'$ 、 $\Delta z'$ を計算し加工シミュレーション部17に通知する。
5

加工シミュレーション部17では、この $\Delta x'$ 、 $\Delta y'$ 、 $\Delta z'$ に基づいて前述したと同様な方法で工具1回転あたりの切削量を算出し、シミュレーション予見制御部18へ通知する。

10 シミュレーション予見制御部18では、この工具1回転あたりの切削量に基づいて、前述したと同様な方法でシミュレーション切削抵抗値を算出する。

このシミュレーション切削抵抗値は、シミュレーション予見制御部18で計算された適正な送り速度に基づいた補間処理、加工シミュレーションの結果に基づいたものであり、当然適正切削抵抗値を逸脱していないので、加工形状更新信号を加工シミュレーション部17へ通知されるとともに送り速度適正信号が補間処理部13へ通知されることになる。
15

その結果、補間処理部13では、先にシミュレーション予見制御部18で計算された適正な送り速度に基づいて補間処理を行い算出した $\Delta x'$ 、 $\Delta y'$ 、 $\Delta z'$ をサーボ制御部14に通知するので、適正な切削抵抗になる送り速度で20 切削が行われることになる。

また、上記（式8）で算出した切削トルクに基づいて、前回補間時の切削トルクとの比較を行ない、切削トルクの前回からの変化量からトルクフィードフォワード量を算定し、このトルクフィードフォワード量をサーボ制御部14へ送出することも可能である。

25 この場合、サーボ制御部14では、このトルクフィードフォワード量を送り速度又は切削速度が一定となるようなトルク制御に使用することとなる。

切削監視部 15においては、サーボ制御部 14から実際に検知した主軸負荷や送り軸負荷を受け取り、適正な送り速度に基づいて算出されたシミュレーション切削抵抗との関係を常時監視し、この関係が例えば比例関係を逸脱した場合は即座に送り停止信号を補間処理部 13に通知して補間を即座に停止させる
5 ことが可能である。

本発明の NC 加工における加工シミュレーション装置及び方法に係る第 2 の実施形態は、オペレータによる加工データ入力から NC プログラム作成を一旦行ない、この NC プログラムと素材形状データに基づいて加工シミュレーションを行い、その結果認識できる切削量、或いはこの切削量から求められる切削
10 抵抗値と主軸回転速度に基づいて、切削による負荷変動の周波数もしくはその整数倍の高調波周波数が機械、工具、あるいは工作物等の固有振動数を含む一定範囲を避けるように、この NC プログラムの速度指令決定を実施する NC 加工における加工シミュレーション装置である。

ここでは、本 NC 加工における加工シミュレーション装置を数値制御装置と
15 切り離した例を説明する。

以下、図 4 のブロック図を用いて説明する。

尚、本ブロック図では、図 2 のブロック図と共通する項目には、共通の番号を付しており、このためブロック 25 が欠如しているが、図 3 のブロック図と機能的に共通又は類似するブロックについては、分かり易くするため再度説明
20 を行なっているので、共通の番号を付していない。

加工データ入力部 21においては、NC プログラムを作成する上で必要な情報である工具種類、工具サイズ、素材材質、加工軌跡等をオペレータが入力し、入力された結果は NC プログラム作成部 23 に送出される。

切削条件データテーブル 22 は、工具種類、工具サイズ、素材材質等からそれらに適切な送り速度、主軸回転速度等が決定できるようなデータテーブル構造となっており、NC プログラム作成部 23 によって参照される。

NCプログラム作成部23では、加工データ入力部から送出された工具種類、工具サイズ、素材材質、加工軌跡等の加工データ、さらには、工具種類、工具サイズ、素材材質等に基づいて切削条件データテーブル22から読み出された送り速度、主軸回転速度等の切削条件を基に、一旦NCプログラムを作成する。

NCプログラム解釈部26は、NCプログラム作成部23から1ブロックずつNCプログラムを読み込み、解釈し、本ブロックで指令されている、或いは、モーダル指令として前ブロックまでで指令されている補間種類、目標位置、送り速度を補間処理部27に通知するとともに、工具番号と主軸回転速度とを10 加工シミュレーション部28に通知する。

補間処理部27は、補間種類、目標位置、送り速度に基づいて、各軸毎の単位時間（例えばターゲットとなるNC装置の補間周期）当たりの仮想的な補間移動量 Δx 、 Δy 、 Δz を算出し、加工シミュレーション部28に通知する。

加工前形状生成部210は、NCプログラム作成に先立って、予め本システムが持っている素材メモリ29から素材形状データを読み出し、これから行う加工シミュレーションに適したデータ構造に変換して、加工シミュレーション形状データとしてシミュレーション形状データメモリ211に格納しておく。或いは、オペレータが加工シミュレーションの都度、素材形状を入力し、この入力されたデータを前述のように加工シミュレーション形状データとしてシミ20 ュレーション形状データメモリ211に格納しておく。

尚、加工前形状生成部210は、図5(a)に示すように素材底面に対応したX-Y平面上に所定間隔の格子点を定義し、各格子点毎にZ方向空間に素材が存在するか否かを、素材形状データを基に判別し、存在すれば素材底面からの高さ h_1 を、存在しなければ0をその格子点に対応したZ座標値として記憶25 するという手順で、素材メモリ29の素材形状データを加工シミュレーションに用いる形状のデータ構造に変換し、シミュレーション形状データメモリ21

1に格納する。

また、図5（b）のように1つの格子点のZ方向空間に対して、素材が存在する領域の間に素材が存在しない中空領域h2が挟まれていれば、この格子点に対応して記憶されるZ座標値データは1つのみでなく、素材領域の高さh1
5、中空領域の高さh2、再び素材領域の高さh3といった複数個のZ座標値データ（連結リスト構造）を記憶することとなる。

加工シミュレーション部28は、NCプログラム作成部23から受け取った工具番号と予め本システムが持っている使用工具データメモリとから現在加工に使用されている工具の形状、例えば工具径を認識し、この工具径と補間処理部27から受け取った Δx 、 Δy 、 Δz とシミュレーション形状データメモリ211から必要に応じて順次読み出した加工シミュレーション用形状データとに基づいて単位時間あたり切削量を算出し、さらにこの切削量と主軸回転速度とに基づいて工具1回転当たりの切削量を算出し、さらに定められた単位角度当たりの切削量を算出し、さらに切削による負荷変動のレベルがある範囲を超
10 15えている成分の周波数を算出する。

機械、工具、治具、あるいは工作物等の持つ固有振動周波数をあらかじめ実験もしくは解析で求めておき、この周波数を登録しておく。

切削による負荷変動の周波数もしくはその整数倍の高調波周波数が各部の固有振動数に比べてある一定の範囲内であれば、その範囲を外れるように主軸回転速度を下げる。この範囲は実験的に求めて予めデータとして持つておく。
20

新しい主軸回転速度をNCプログラム作成部23に送出する。NCプログラム作成部では加工シミュレーション部28から通知された新しい主軸回転速度に基づいてプログラムを変更する。

さらに、加工シミュレーション部28はこの主軸回転速度による主軸1回転
25 当たりの切削量を算出しNCプログラム作成部23へ通知する。

前記単位時間あたり切削量は、前述した手順によりこれを算出することがで

きる。すなわち、図6に示す如く工具の現在位置X、Yと工具径と Δx 、 Δy とからX-Y平面上に所定間隔で定義された格子点の内、どの格子点を工具が通過するかを特定し、さらにこの格子点が持つ加工シミュレーション形状のZ座標値と工具の現在位置Zと Δz とから工具が加工物を削り取るか否かを判別
5 し、この判別された格子点1つ1つに対して削り取り量を算出してそれらの総和を算出することによって得られる。

尚、この時点では、 Δx 、 Δy 、 Δz に基づいた工具の移動が実際に行われるか否か未定のため、今回の Δx 、 Δy 、 Δz に基づいた工具移動による削り取りに応じた加工シミュレーション形状データの更新、及びシミュレーション
10 形状データメモリ211への格納は行わない。

N Cプログラム作成部23では、加工シミュレーション部28から受け取った工具1回転あたりの切削量と予め本システムが持っている素材材質とから加工シミュレーション切削抵抗値R(式7)及び切削トルクT(式8)を算出する。

15 次に、工具番号と予め本システムが持っている使用工具データメモリとから現在加工に使用されている工具の適正切削抵抗を読み出す。

尚、工具の適正切削抵抗値は、オペレータが加工に先立って工具毎に設定しておいてもよい。

前記(式7)で算出したシミュレーション切削抵抗値と適正切削抵抗値とを
20 比較し、シミュレーション切削抵抗値が適正切削抵抗値を逸脱している場合は、適正な切削抵抗になるような送り速度を計算する。

前記適正送り速度を算出する式は、例えば(式9)のようなものである。

一方、逸脱していない場合は、加工形状更新信号を加工シミュレーション部28へ送る。

25 加工シミュレーション部28は、N Cプログラム作成部23から加工形状更新信号を受け取ったら、今回の Δx 、 Δy 、 Δz に基づいた工具移動による削

り取りに応じて加工シミュレーション形状データを更新し、シミュレーション形状データメモリ 211 に格納する。

この更新は、格子点毎に記憶されている Z 座標値を削り取られた量だけ減算することによって実行される。

- 5 適正な切削抵抗になるような送り速度を計算した場合は、先に補間処理したデータをすべて破棄し、再度単位時間当たりの各軸の移動量 $\Delta x'$ 、 $\Delta y'$ 、 $\Delta z'$ を計算し加工シミュレーション部 28 に通知する。

加工シミュレーション部 28 では、この $\Delta x'$ 、 $\Delta y'$ 、 $\Delta z'$ に基づいて前述したと同様な方法で工具 1 回転あたりの切削量を算出する。

- 10 NC プログラム作成部 23 では、この工具 1 回転あたりの切削量に基づいて、前述したと同様な方法でシミュレーション切削抵抗値を算出する。

- このシミュレーション切削抵抗値は、NC プログラム作成部 23 内部で計算された適正な送り速度に基づいた仮想的な補間処理、加工シミュレーションの結果に基づいたものであり、当然適正切削抵抗値を逸脱していないので、加工
15 形状更新信号を加工シミュレーション部 28 へ通知することになる。

- そして、NC プログラム作成部 23 においては、各補間単位毎に適正送り速度を計算し、その適正送り速度が一定範囲に入る補間単位が連続するならばこれを結合して適正な F 指令を付加すると共に、適正送り速度が一定範囲に入らない補間単位が連続するならば、別ブロックに分割して各々適正な F 指令を付
20 加する方法を用いて、当初の NC プログラムブロックを適宜分割する。

- 尚、前述の NC プログラム作成部 23 での計算において、シミュレーション切削抵抗値が 0 以外から 0 になった、0 のままである、0 から 0 以外になったなどを判別することによって切削状態からエアカット状態になる、エアカット状態が継続している、エアカット状態から切削状態になるといった状態遷移を
25 検知し、切削送り速度を予め機械仕様メモリ 212 に格納されている早送り速度、あるいは予め機械仕様メモリ 212 に格納されている最大補間速度にアッ

プしたり、アップした速度を維持したり、アップした速度から適正な切削送り速度に戻すことが可能である。

また、本実施形態において、補間処理部 27 を除いて、加工シミュレーション部 28 において、NC プログラム解釈部 26 から得られるブロック軌跡を用いてブロック当たりの切削量とブロック当たりの加工時間を計算し、これらのデータから送り速度の適正／不適を判定して F 指令変更を行なう方法を採用しても良い。

一方、オペレータが予め基本となる送り速度を変更する場合には、例えば、テーブルデータ変更部 24 において、工具種類、工具サイズ、素材材質等と送り速度、主軸回転速度等とのリレーションテーブルの変更を指示することとなる。

本発明の NC 加工における加工シミュレーション装置及び方法に係る第 3 の実施形態は、素材や工具の形状データに基づく加工シミュレーションをリアルタイムで行い、その結果認識できる切削量、切削箇所等のデータに基づいて、工具実績情報を作成する NC 加工における加工シミュレーション装置である。

上記の何れの実施形態においても、素材形状データや工具形状データとして実際の加工物や工具の計測データを使用することが可能であるし、図 7 の如く素材形状データを加工物を実際に計測した結果に基づいて補正したり、同様に工具形状データを工具を実際に計測した結果に基づいて補正することが可能である。

上記の何れの実施形態においても、加工前形状生成部 110 (又は 210) は、素材メモリ 19 (又は 29) から読み出された素材形状データに基づいて、これから行う加工シミュレーションに適したデータ構造に変換する際に、この素材形状データを図 8 (b) の如く 3 次元格子点に区画してシミュレーション形状データメモリ 111 (又は 211) に格納しておくことも可能である。例えば、図 8 の反転部分を除去する場合には、図 8 (a) の如く、X-Y 平面

を格子点で区画し各素材高さを Z 高さデータで持った場合には、 $Z(x, y) = h_1$ から $(h_1 - 1)$ と変化することとなり、図 8 (b) の如く 3 次元格子点に区画した場合には、 $P(x, y, h_1) = 1$ から 0 に変化することとなる。

5 第 1 の実施形態の説明においては、本 NC 加工における加工シミュレーション装置による送り速度制御を補間処理後に行なう形態、及び本 NC 加工における加工シミュレーション装置によるびびり抑制のための主軸速度制御をプログラム指令後に行なう形態、及び本 NC 加工における加工シミュレーション装置によるモータトルク補正值をサーボ制御における電流制御部に送出する形態で
10 組み込んだ形で説明した。

第 2 の実施形態の説明においては、本 NC 加工における加工シミュレーション装置を数値制御装置と切り離して、加工に先だって NC プログラムの速度指令決定を実施する形で説明した。

しかし、本発明の実施形態はこれらに限るものでなく、上記の装置を構成する各々の手段を各々の機能の実現ステップに置き換えた形で実施することも可能である。

そして、少なくとも第 1 及び第 2 の実施形態においては、本発明の装置又は方法への入力として必要となる素材形状、工具形状、及び、補間データに相当するものを準備し、本発明の装置又は方法へ入力すれば、本実施形態で説明した通りの手順で、切削量、切削抵抗、切削振動周波数や加工前、加工途中、加工完了後の加工物形状、及び、適正な送り速度、主軸速度を適宜取り出すことができる。

また、この適正な送り速度や主軸速度を生成する機能を利用して、NC プログラム解釈部と補間処理部との間に、本発明の装置又は方法による送り速度制御を組み込めば、実際の補間処理の前に適切な送り速度や主軸速度を予め決めておくことが可能になる。

さらには、送り速度の急激な変動による機械の振動、工具の破損、あるいは、送り速度の変化、すなわち加減速に伴う形状誤差の発生を防ぐために、補間処理に先立って補間前加減速処理部を有する数値制御システムであれば、NCプログラム解釈部と補間前加減速処理部との間に本発明の装置又は方法による送り速度制御を組み込めば、機械を振動させることなく、加減速に伴う形状誤差発生を抑えて、適切な送り速度で加工を行なうことができる。

ここでは説明を行なっていないが、加工前、加工途中、加工完了後の加工物形状を逐次生成しているので、その加工物形状データをグラフィック表示部に入力すれば、グラフィック表示機能に利用できる。同様に切削量、印削抵抗値を取り出して、色分けなどを行なってグラフィック表示すれば、加工状況の変化の様子をグラフィック表示できる。

産業上の利用可能性

以上のように、本発明にかかるNC加工における加工シミュレーション装置及び方法は、マシニングセンタなどのNC工作機械などに適し、特に、加工シミュレーションに基づき、数値制御指令を作成するNC工作機械に適する。

請 求 の 範 囲

1. 加工情報に基づいて N C 加工の加工シミュレーションを行なう装置において、
 - 5 加工情報に基づいて断続切削による強制振動の周波数及び／又は負荷変動の周波数をシミュレートする加工シミュレーション手段と、前記加工シミュレーション手段から得られる断続切削による強制振動の周波数及び／又は負荷変動の周波数を基に数値制御指令を作成する数値制御指令作成手段と、
 - 10 を有することを特徴とする N C 加工における加工シミュレーション装置。
2. 前記加工情報は、少なくとも N C プログラム、素材形状データ及び工具形状データから成ることを特徴とする請求項 1 に記載の N C 加工における加工シミュレーション装置。
3. 前記加工シミュレーション手段は、前記 N C プログラムの主軸回転速度と前記工具形状データの工具刃数とから断続切削による強制振動の周波数を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の N C 加工における加工シミュレーション装置。
4. 前記加工シミュレーション手段は、
 - 20 前記シミュレーションに先立って前記素材形状データを 3 次元格子点に区画した加工シミュレーション形状データに変換する素材形状データ生成手段と、前記加工シミュレーション形状データを記憶するシミュレーション形状記憶手段と、
 - 25 前記 N C プログラムと前記工具形状データとから前記格子点上の素材領域を工具が通過する場合に削り取り量を切削量として算出するとともに前記工具が通過する格子点の素材有無の情報を削り取りにあわせて更新する切削量算定手

段とを含み、

前記N C プログラムの主軸回転速度と前記工具形状データと前記切削量算定手段とから切削による負荷変動の周波数を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の N C 加工における加工シミュレーション装置。

5 5. 前記加工シミュレーション手段は、

前記シミュレーションに先立って前記素材形状データの素材底面を格子点で区画し素材高さを前記格子点の垂直方向高さデータとした加工シミュレーション形状データに変換する素材形状データ生成手段と、

前記加工シミュレーション形状データを記憶するシミュレーション形状記憶

10 手段と、

前記N C プログラムと前記工具形状データとから前記格子点上の素材領域を工具が通過する場合に削り取り量を切削量として算出するとともに前記工具が通過する格子点の前記垂直方向高さデータを削り取りにあわせて更新する切削量算定手段とを含み、

15 前記N C プログラムの主軸回転速度と前記工具形状データと前記切削量算定手段とから切削による負荷変動の周波数を算出することを特徴とする請求項 2 に記載の N C 加工における加工シミュレーション装置。

6. 前記垂直方向高さデータは、

素材が存在する領域の高さデータ、あるいは、素材が存在する領域の高さデータと存在しない領域の高さデータとの組み合わせから構成されることを特徴とする請求項 5 に記載の N C 加工における加工シミュレーション装置。

7. 前記数値制御指令作成手段は、

前記加工シミュレーション手段から得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械
25 、工具、治具、あるいは工作物等の固有振動数を含む一定範囲を避けるように、
、 N C プログラム又は N C プログラムが数値制御装置内部でデコードされた N

Cプログラムデコードデータ又は前記NCプログラムデコードデータから生成される切削速度を作成することを特徴とする請求項1に記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

8. 前記素材形状データは、

5 入力された加工物形状データを基に前記加工シミュレーションによって得られた形状データ又は前記加工シミュレーションによって得られた形状データの一部を加工物を実際に計測して得られた形状データによって補正したデータであることを特徴とする請求項2に記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

10 9. 前記工具形状データは、

入力された工具形状データを基に工具を実際に計測して得られた形状データによって補正したデータであることを特徴とする請求項2に記載のNC加工における加工シミュレーション装置。

10. 加工情報に基づいてNC加工の加工シミュレーションを行なう方法に
15 おいて、

加工情報に基づいて断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数をシミュレートする加工シミュレーションステップと、

前記加工シミュレーションステップで得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数を基に数値制御指令を作成する数値制御指令作成ステップと、

を有することを特徴とするNC加工における加工シミュレーション方法。

11. 前記数値制御指令作成ステップにおいては、

前記加工シミュレーション手段から得られる断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械
25 、工具、治具、あるいは工作物等の固有振動数を含む一定範囲を避けるように、
、NCプログラム又はNCプログラムが数値制御装置内部でデコードされたN

Cプログラムデコードデータ又は前記NCプログラムデコードデータから生成される切削速度を作成することを特徴とする請求項10に記載のNC加工における加工シミュレーション方法。

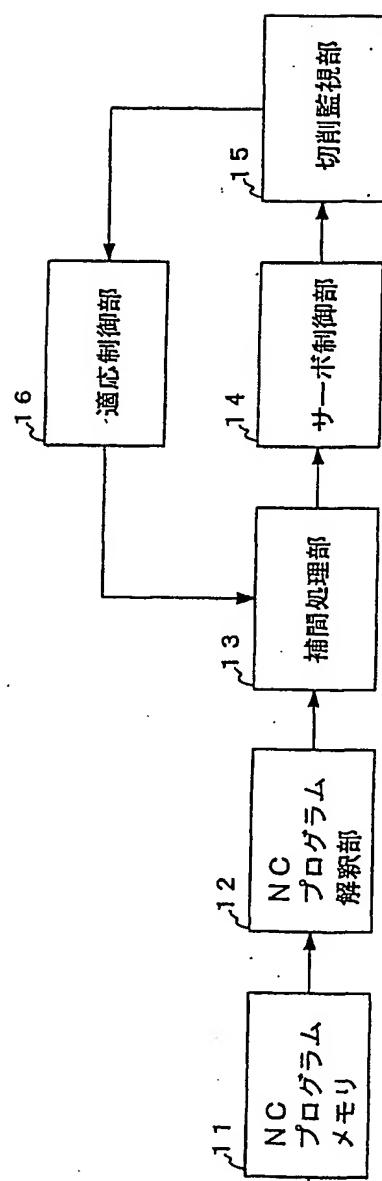
12. コンピュータに、

- 5 加工情報に基づいて断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数をシミュレートする加工シミュレーション手順と、
断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数を基に数値制御指令を作成する数値制御指令作成手順と、
を実行させるためのプログラムを記録した媒体。

10 13. 前記加工シミュレーション手順を実行させるためのプログラムは、

- 断続切削による強制振動の周波数や負荷変動の周波数もしくはそれらの周波数の整数倍の高調波周波数が機械、工具、治具、あるいは工作物等の固有振動数を含む一定範囲を避けるように、NCプログラム又はNCプログラムが数値制御装置内部でデコードされたNCプログラムデコードデータ又は前記NCプログラムデコードデータから生成される切削速度を生成することを特徴とする
15 請求項12記載の媒体。

図 1



2 / 10

図 2

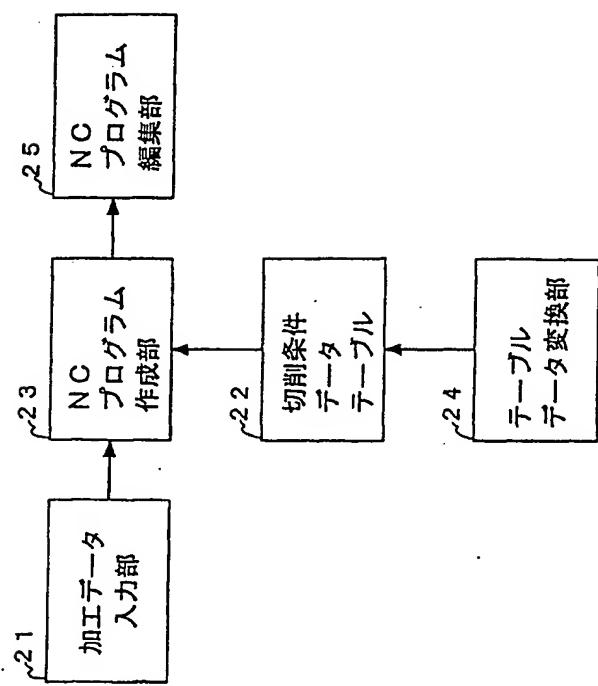
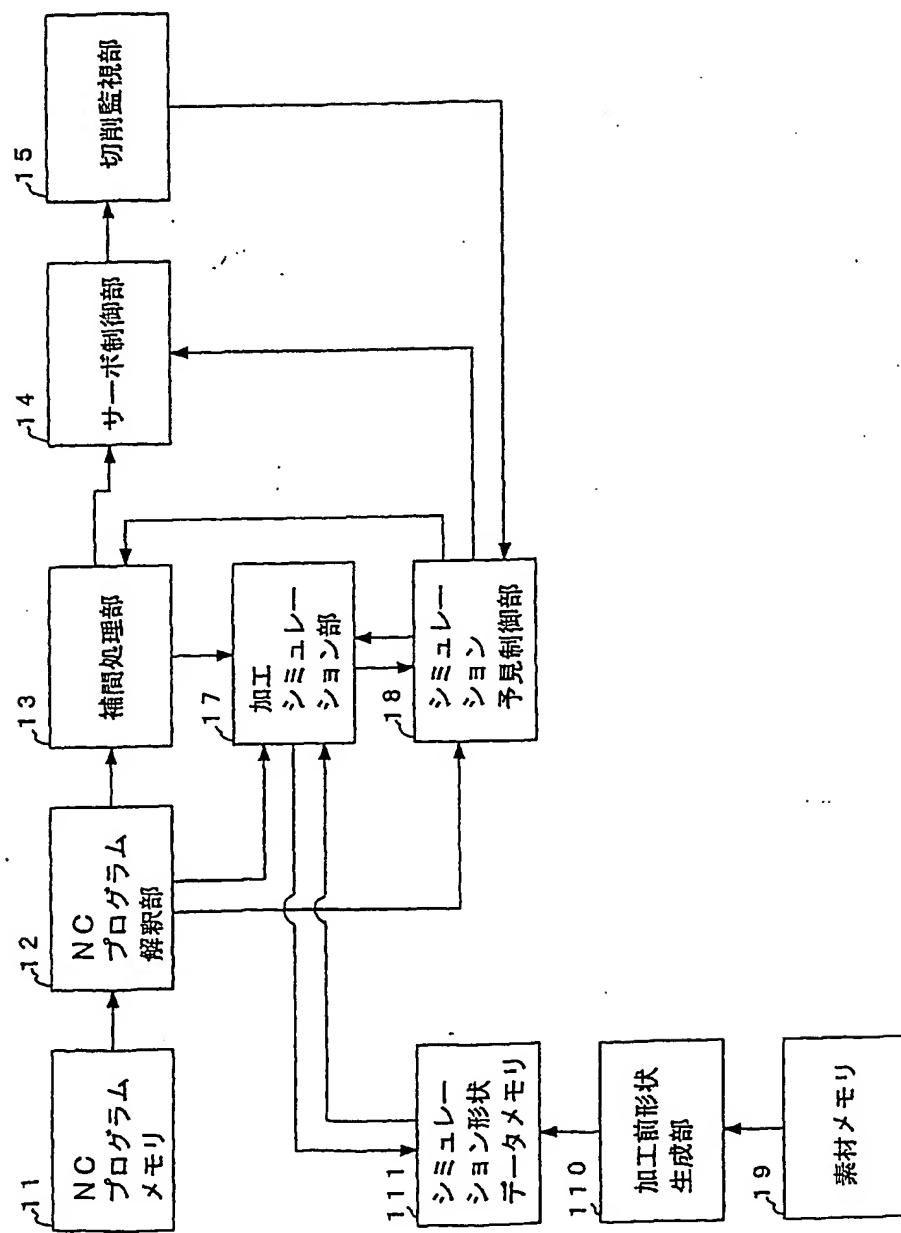
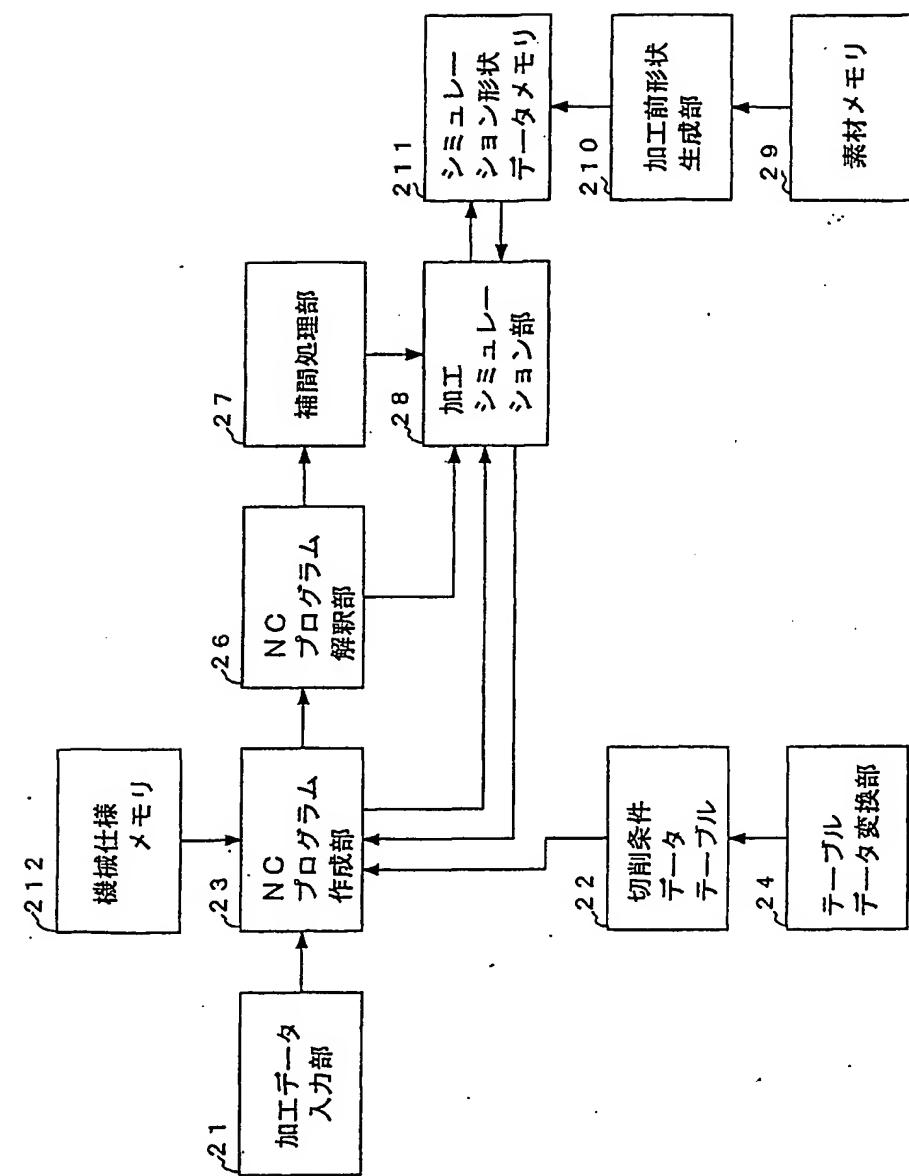


図 3



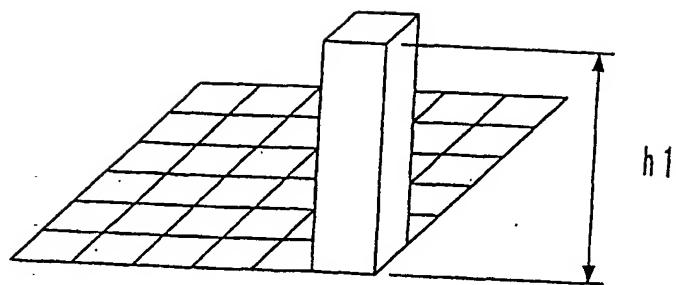
4 / 10

図 4



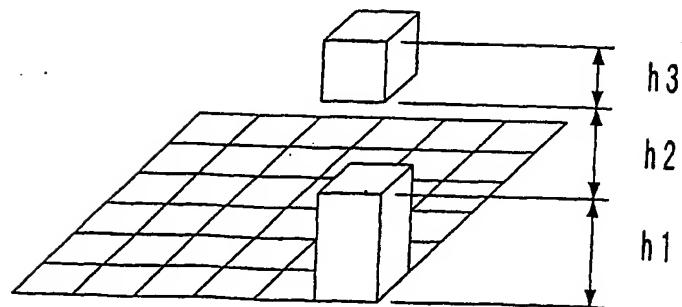
5 / 10

図5 (a)



$$z(x) (y) = \boxed{h_1}$$

図5 (b)



$$z(x) (y) = \boxed{h_1 | h_2 | h_3 | \text{null}}$$

連結リスト構造

6 / 10

図6 (a)

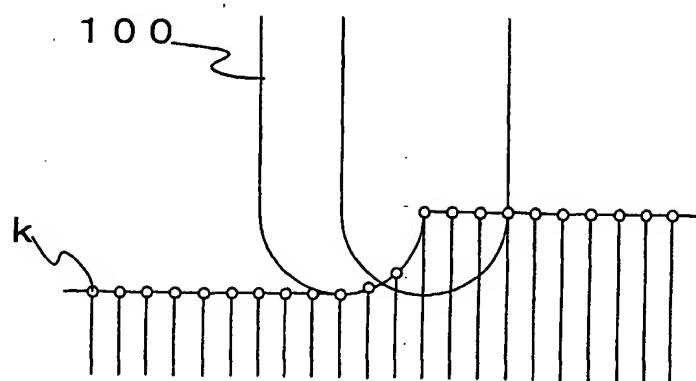
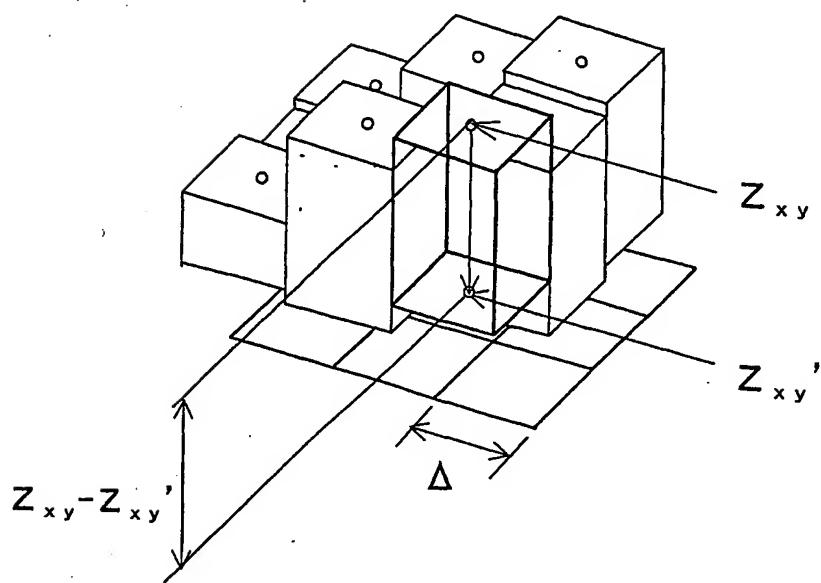
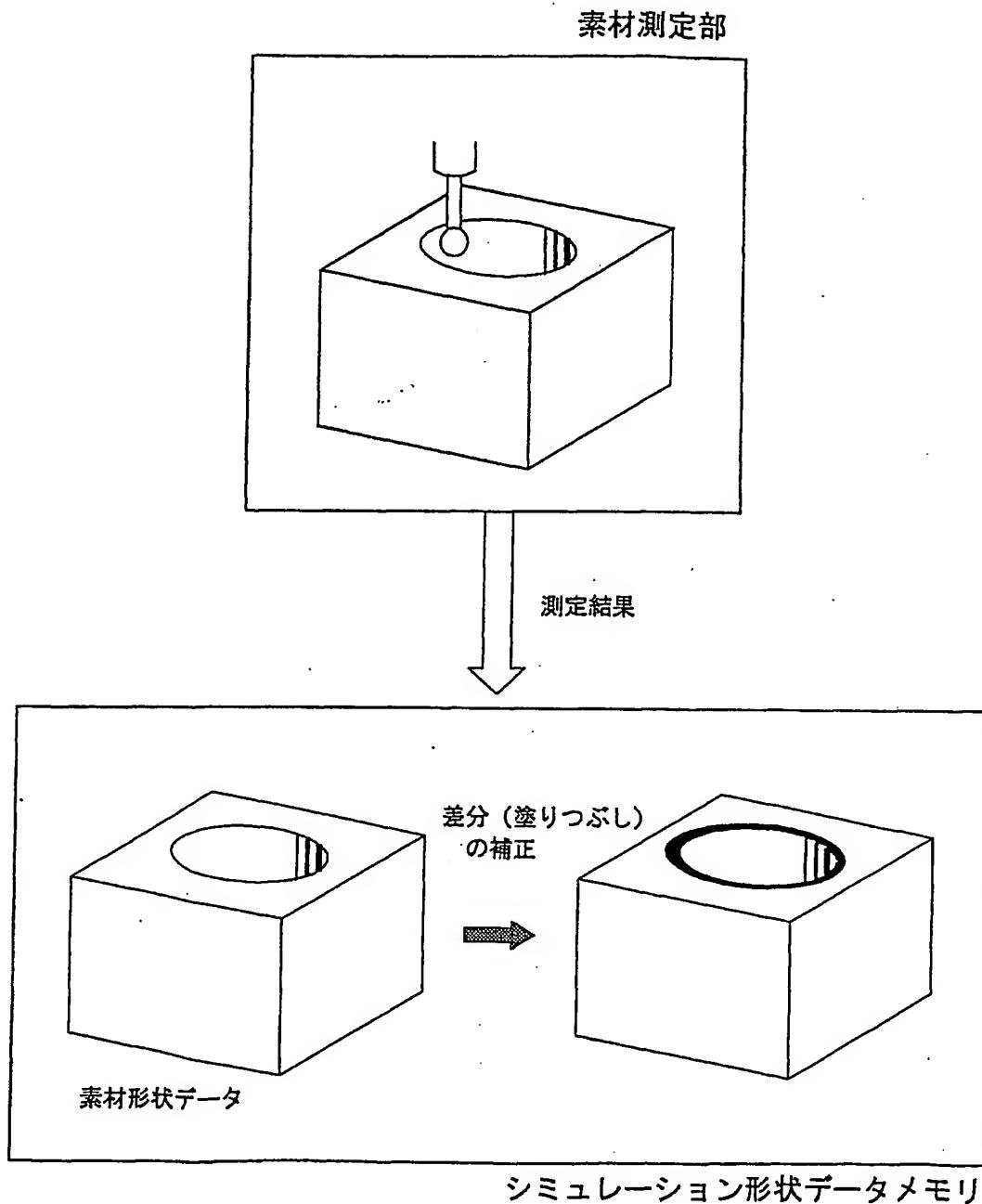


図6 (b)



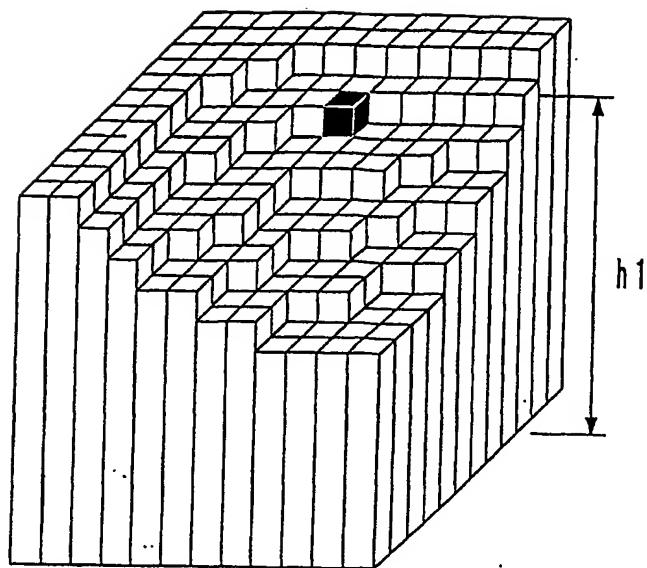
7 / 10

図 7



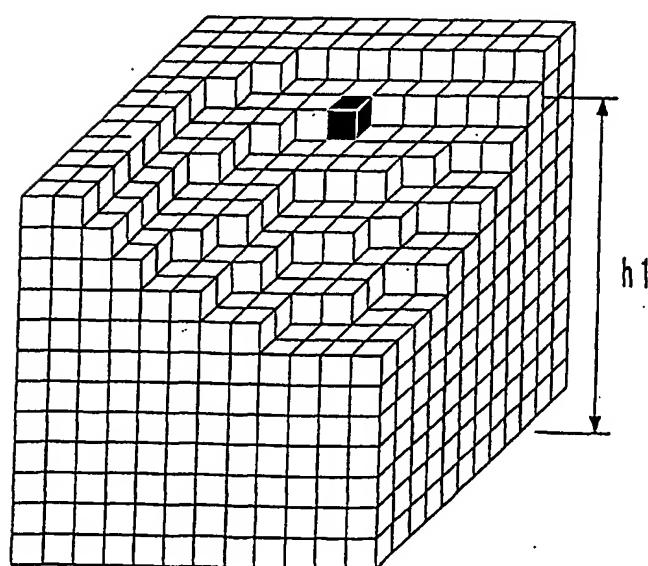
8 / 10

図8 (a)



$$z(x) (y) = h1 \rightarrow (h1 - 1)$$

図8 (b)



$$P(x, y, h1) = 1 \rightarrow 0$$

9 / 10

図 9

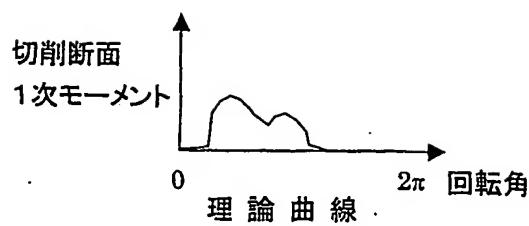
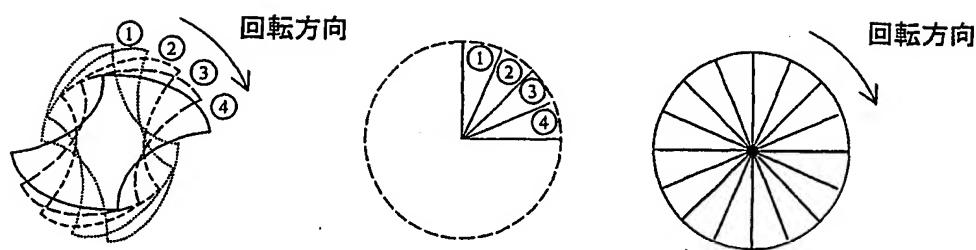
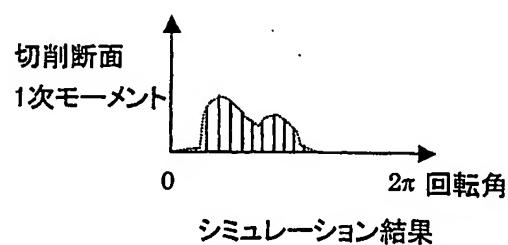


図 10



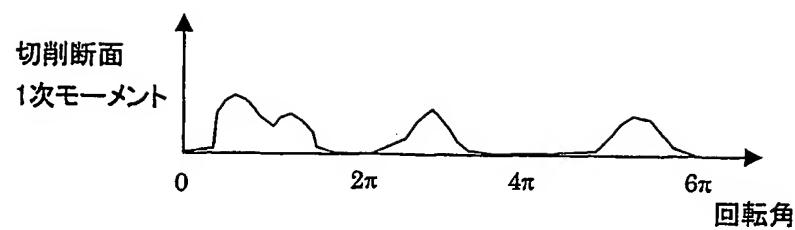
工具 1 回 転 の 分 割

図 11



10 / 10

図 12



シミュレーション結果を展開した場合(1枚刃)

図 13

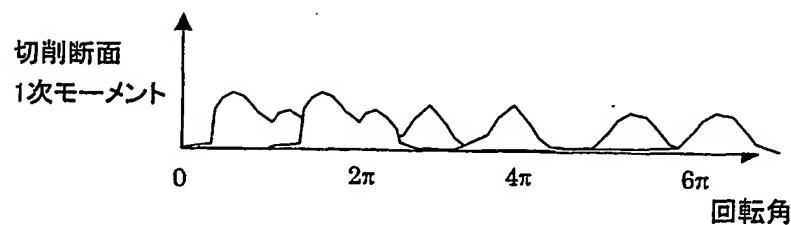


図13 シミュレーション結果を展開した場合(2枚刃)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/04393

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G05B 19/4068, B23Q 15/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHEDMinimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G05B 19/4068, B23Q 15/12Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-195255 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 01 August, 1995 (01.08.95), Par. No. 19 (Family: none)	1,10,12
A	JP 2000-84794 A (Makino Milling Mach Co., Ltd.), 28 March, 2000 (28.03.00), Par. Nos. 64 to 65 & WO, 200015385, A	1,10,12
A	JP 4-205210 A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 27 July, 1992 (27.07.92) (Family: none)	4
A	JP 63-273910 A (FANUC LTD), 11 November, 1988 (11.11.88) (Family: none)	4

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E"	earlier document but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 17 August, 2000 (17.08.00)	Date of mailing of the international search report 29 August, 2000 (29.08.00)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
--	--------------------

Facsimile No.	Telephone No.
---------------	---------------

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP00/04393

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(IPC))
Int. C17 G05B 19/4068, B23Q 15/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(IPC))
Int. C17 G05B 19/4068, B23Q 15/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2000年
日本国登録実用新案公報	1994-2000年
日本国実用新案登録公報	1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 7-195255, A (住友金属工業); 1. 8月. 1995 (0 1. 08. 95), 段落19 (ファミリーなし)	1, 10, 12
A	JP, 2000-84794, A (株式会社牧野フライス製作所), 2 8. 3月. 2000 (28. 03. 00), 段落64-65 & WO, 200015385, A	1, 10, 12
A	JP, 4-205210, A (日本電信電話株式会社), 27. 7月. 1 992 (27. 07. 92) (ファミリーなし)	4
A	JP, 63-273910, A (ファナック株式会社), 11. 11月. 1988 (11. 11. 88) (ファミリーなし)	4

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
17. 08. 00

国際調査報告の発送日

29.08.00

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官(権限のある職員)
平田 信勝

3C 9032



電話番号 03-3581-1101 内線 3324